

文章编号: 2096-1618(2020)02-0170-09

# 2017年长江中下游地区一次持续性异常降水过程分析

王泽宇, 王伟

(成都信息工程大学大气科学学院 四川省高原大气与环境重点实验室, 四川 成都 610225)

**摘要:**持续性异常降水会引起严重的洪涝灾害,造成巨大的社会经济损失。针对2017年夏季长江中下游地区持续性异常降水过程,利用2017年6-7月欧洲中心逐日再分析资料和国家气象信息中心提供的测站逐日降水资料,采用要素空间分布演变分析方法,对2017年6月22日至7月1日降水过程的时空特征和大尺度背景场进行了探讨分析。结果表明:此次持续性异常降水在长江中下游地区沿长江呈西南—东北向带状分布,具有持续性时间长、降水量大的特点;主要影响系统为西太平洋副热带高压(简称副高)、东北低压和南亚高压,其中副高的影响最大,南亚高压主要影响此次降水的范围;东北低压与副高相配合,使南下的干冷气团与北上的暖湿气团在长江中下游地区交汇,交汇位置的移动影响雨带的位置;长江中下游地区位于高空急流入口区右侧,上升运动强烈,850 hPa上的低空急流将西太平洋和印度洋的暖湿空气输送到长江中下游地区。故此次持续性异常降水是由各种因素相互配合形成的。

**关键词:**气象学;持续性异常降水;长江中下游地区;环流形势;水汽通量

**中图分类号:** P458.1+21

**文献标志码:** A

**doi:** 10.16836/j.cnki.jcuit.2020.02.008

## 0 引言

长江中下游地区位于中国东部,东临太平洋,处于东亚季风区,是持续性降水的多发区。20世纪90年代以来,持续性异常气象事件尤其是持续性异常降水事件频发,1998年长江流域洪水造成2.23亿人受灾,死亡人数3704人,直接经济损失2500亿元<sup>[1]</sup>。长江中下游地区夏季持续性异常降水是近些年来气象工作者关注的热点问题之一。

气象学者从多角度和多种途径对影响长江中下游地区夏季持续性异常降水的因子进行了研究。谢齐强<sup>[2]</sup>对1991年江淮流域特大暴雨的研究发现,来自南海和来自孟加拉湾的水汽各旬之间变化较大且存在正相关;甘晶晶等<sup>[3]</sup>通过研究江淮流域持续性暴雨的特征发现,江淮持续性暴雨的前期信号较多地集中在对流层中高层和平流层低层;郑有光等<sup>[4]</sup>对1998年和2002年梅雨锋给出了梅雨锋的概念模型;周宏伟等<sup>[5]</sup>发现在有利的大气环流背景下,高低空急流的存在和维持是暴雨产生的动力机制;王昀等<sup>[6]</sup>对2011年7月中旬江淮流域持续降水过程和11-13日大暴雨的大尺度环流及物理量进行了诊断,发现水汽主要来自孟加拉湾、南海和西太平洋地区,高低空的强烈辐散辐合

所造成的深厚上升运动为暴雨提供了动力条件。Liu等<sup>[7]</sup>对1981-2014年华南地区持续强降雨事件进行了分析,按照水汽来源将事件划分为三种类型;何群英等<sup>[8]</sup>对2012年7月25-26日发生在天津的局地性、持续性大暴雨天气过程进行了分析,发现该次强降水可能是由3个 $\beta$ 中尺度对流云团发展加强所致。

2017年6月中旬588线(500 hPa位势高度场上5880位势米等值线,简称588线)第一次北跳,长江中下游地区进入梅雨季节,6月22日至7月1日出现了持续性强降水事件<sup>[9-11]</sup>。本文将首先分析此次持续性强降水过程的时空分布特征,然后对此次事件发生前后及期间的高低空环流形势、温湿场分布演变等进行探讨,以期对持续性异常降水的预报提供一定的依据。

## 1 资料与方法

所采用的资料:2017年国家气象信息中心提供的全国测站逐日降水数据以及欧洲中心逐日4次再分析资料。其中欧洲中心再分析资料的水平分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$ ,要素包括各高层水平风场、位势高度场、散度、温度以及湿度。

夏季(6-8月)长江中下游持续性降水事件的判定标准为连续7天降水中有5天降水超过10 mm,若超过7天降水依然超过10 mm,那么当出现连续两天

收稿日期:2019-07-01

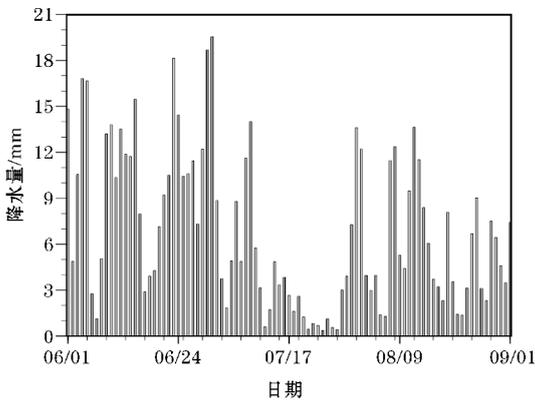
基金项目:国家自然科学基金资助项目(41005034);公益性行业(气象)科研专项资助项目(GYHY201506001)

的降水达不到10 mm时,视为此次降水结束<sup>[12-15]</sup>。

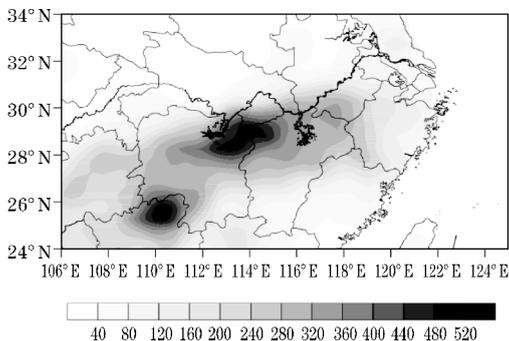
## 2 持续性强降水的时空特征

图1(a)为2017年6-8月长江中下游地区(106°E~123°E,24°N~34°N)平均的逐日降水演变序列。依据定义,6月9-15日、6月22日-7月1日均为持续性降水事件。6月22日至7月1日发生的持续性降水事件具有持续性时间长(持续时间为10天)、降水量大(区域平均降水累计137.5 mm)的特点,区域平均降水最大出现在7月1日,降水量为19.5 mm。

图1(b)为2017年长江中下游地区6月22日至7月1日累计降水量的空间分布。整个长江中下游地区的累计降水量均超过40 mm,降水沿长江呈西南-东北带状分布,长江以南地区降水较多;在广西东北部(大约位于25.5°N,110°E)和湖南、湖北、江西三省交界处(大约位于28.5°N~29°N,113°E~115°E)出现降水大值区,降水量超过500 mm;广西东北部的降水大值区中心最大值达到520 mm。



(a) 逐日降水量



(b) 累积降水量的空间分布

图1 2017年6-8月长江中下游地区平均的逐日降水量演变和2017年6月22日至7月1日降水过程累积降水量的空间分布

2017年长江中下游地区6月22日至7月1日降水期间以及前后时期降水量的空间分布演变图(图略)表明:雨带位于长江流域时降水量较大,洞庭湖、鄱阳湖流域易出现降水大值区;广西东北部地区降水持续时间长。在整个降水过程中,雨带在22-27日有南移的趋势,在28日至7月1日又逐渐北移。

## 3 持续性强降水的环流特征

将持续性降水开始的第一天记为第0天(即6月22日),以此类推持续性降水的最后一天为第9天(即7月1日),-5 d为发生前的第5天(即6月17日),+5 d为结束后的第5天(即7月6日)。

图2为2017年长江中下游地区6月22日至7月1日降水期间以及前后时期850 hPa风场、位势高度场和温度场的空间分布演变图。此次降水过程前(-5 d),长江中下游地区温度明显低于南北两侧,无冷暖气流的交汇。6月22-23日(第0~1天),中国东北部出现低压系统,空气辐合,明显有冷空气从东北部南下,且在长江中下游地区有冷暖气流交汇,西太平洋高压北侧有风切变,西北侧有低涡。6月24-26日(第2~4天),在东北部低压系统的影响下冷空气持续南下,西太平洋高压有所减弱,冷空气越过长江继续南下,在长江中下游地区的偏南部与暖湿空气交汇。6月27-29日(第5~7天),冷空气南下的路径东移,分别与来自西北方向的暖空气以及来自东南方向的暖湿空气在长江中下游地区北部和南侧交汇,由于来自大陆的暖空气较为干燥、水汽含量低,不能为降水的产生提供充足的水汽,因此仅能在长江中下游南部产生少量降水;西太平洋高压北侧依旧有明显的风切变,西侧有低涡,降水持续。6月30日和7月1日(第8~9天),冷空气南下至长江流域与来自西太平洋和印度洋的暖湿气流交汇,长江中下游南部、西太平洋高压北侧有明显的风切变,西侧有多个低涡,降水持续并增强。此次降水过程结束后(+5 d),风切变北移至淮河流域,相应的低涡也向北移动,不再影响长江中下游地区。

西太平洋高压与东北部低压的配合使西太平洋高压西北侧有西南急流,有利于输送来自西太平洋的暖湿气流,导致大气产生不稳定层结,产生上升气流,长江中下游地区为强水汽辐合上升区,为产生强降水的必要条件。

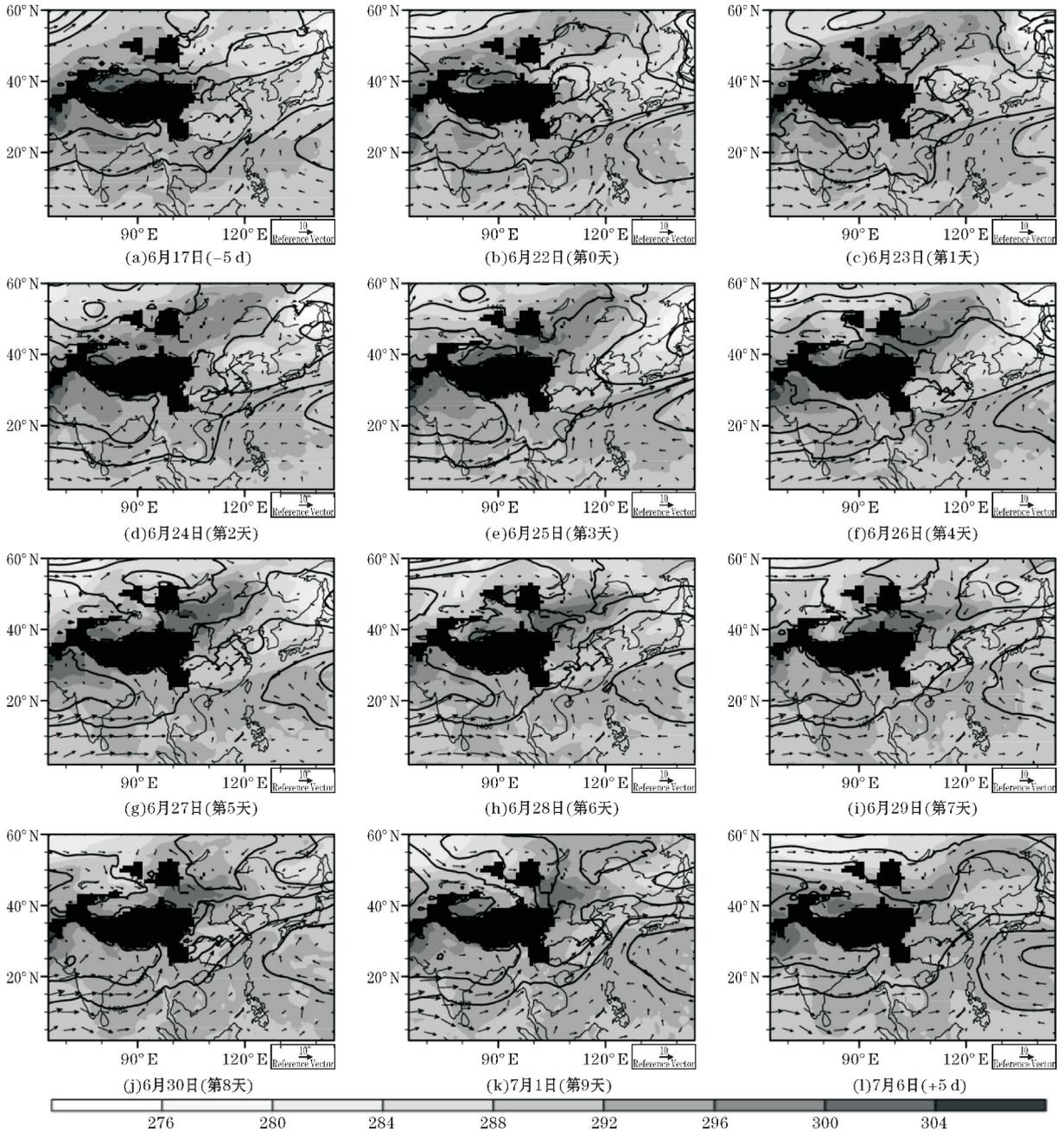


图2 2017年6月22日至7月1日降水期间及前后时期各阶段850 hPa 风场、位势高度场以及温度场的空间分布演变图

图3为2017年长江中下游地区6月22日至7月1日以及前后时期500 hPa位势高度场的空间分布演变图。此次降水过程前(-5 d),黑龙江省北部,黑龙江中段有一低压中心;588线位于西北太平洋上空。6月22日(第0天),低压中心加强,向西南移动,移动到黄河几字形段上方;副高加强,588线脊点西伸值 $110^{\circ}\text{E}$ 以西。6月23日(第1天),孟加拉湾北部出现闭合的高压中心。6月24日(第2天),低压中心向东移动,588线范围缩小,脊点位于 $110^{\circ}\text{E}$ 以东,副高相对较弱;孟加拉湾北部的高压中心加强西移至印度半岛,高压中心东侧反气旋型环流明显。6月25日(第3天),低压减弱,闭合中心消失;副高强度开始加强,西

端到达海南岛东;印度半岛高压中心减弱西移。6月26日(第4天),588线脊点已到达中南半岛;印度半岛高压中心继续减弱西移,移出印度半岛。6月27日(第5天),蒙古出现闭合低压中心;副高基本维持不变。6月28日(第6天),蒙古低压范围变大。6月29日(第7天),中国东北的低压加强,副高呈现东退北上的趋势。6月30日(第8天),中国东北的低压加强且伸向西南方向,副高基本不变。7月1日(第9天),中国东北的低压继续加强并伸向西南方向,副高东退南撤。此次降水过程结束后(+5 d),中国东北的低压减弱消失,副高明显西伸。

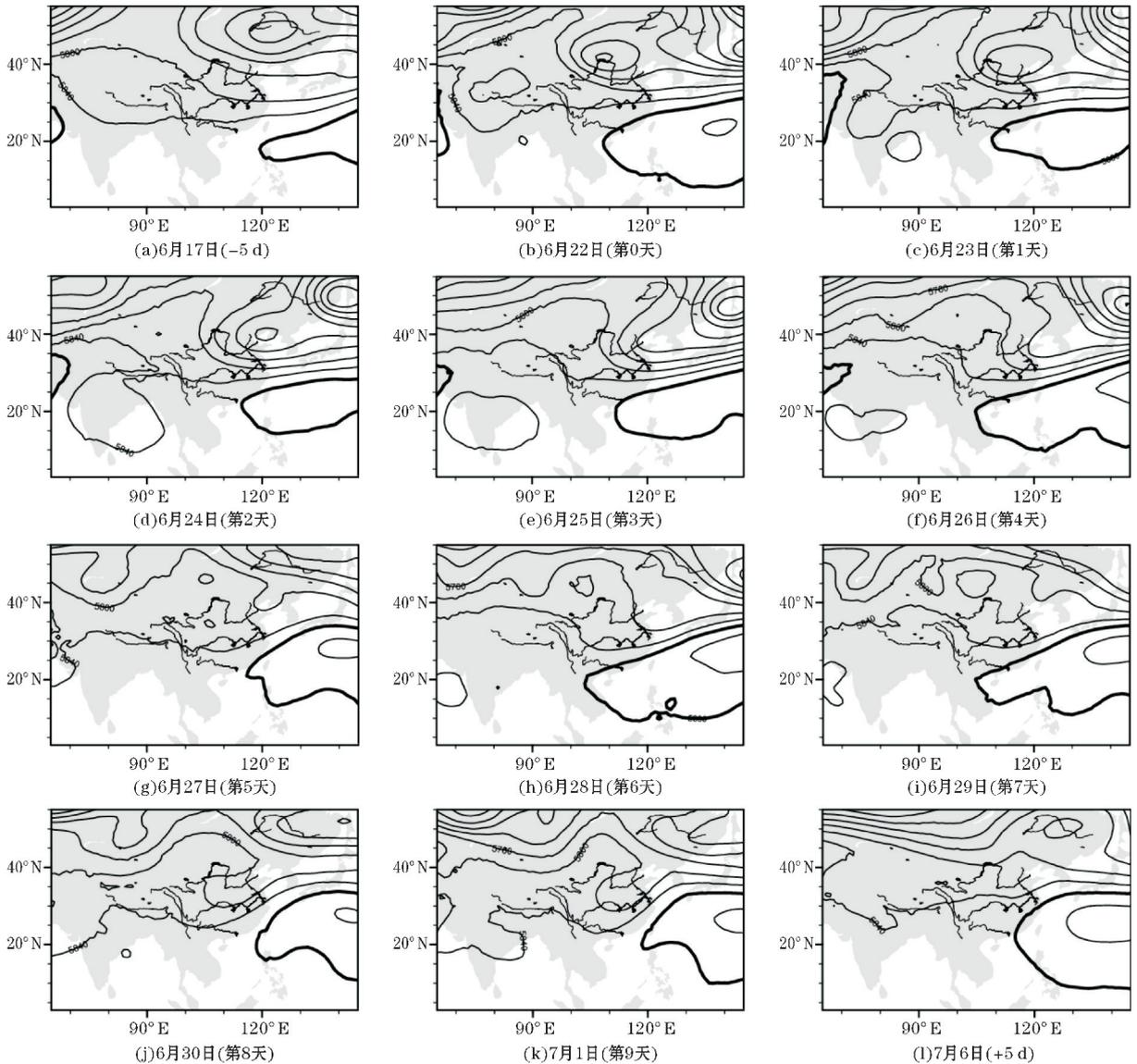


图3 2017年6月22日至7月1日降水期间及前后时期各阶段500 hPa位势高度场的空间分布演变图

结合此次降水的时空分布以及850 hPa环流形势,主要有两个影响此次降水过程系统,分别为位于中国东北部的低压系统以及位于西南侧的副热带高压系统。长江中下游地区北侧为低压系统,南侧为副热带高压系统,有利于降水的产生。其中副高的位置会影响长江中下游地区雨带的空间分布,例如,此次降水过程开始的第2、3天,降水的空间分布明显比第1天偏南,而588线相比于降水过程开始的第1天也明显南退;北侧的低压系统的位置主要影响降水量的大小,例如,此次降水过程开始的第7天的日平均降水量远远低于降水过程开始的第8天,第7天低压位于渤海的北侧,而第8天低压系统已伸向西南方向,到达长江中下游地区的北侧。

200 hPa的12520 gpm等值线被视作南亚高压的特征线<sup>[12-14]</sup>。图4给出200 hPa位势高度场在降水前期、

期间、后期的空间分布图。此次降水过程前(-5 d),南亚高压范围较小,12520特征线位于20°N以北,东脊点位于110°E以东,长江中下游地区无大范围降水。6月22日持续性降水开始,南亚高压主体范围增大东移,东脊点位于135°E以东,长江中下游地区出现大范围强降水。6月23日(第1天),南亚高压西扩,东脊点在130°E以西位置,印度洋的水汽运输加强,长江中下游地区降水强度加强。6月24-25日(第2~3天),南亚高压范围基本不变,长江中下游地区降水维持。6月26日(第4天),12520特征线脊线位置基本不变,但形成贯穿东西的带状分布,长江中下游地区降水范围相对减小。6月27日(第5天),南亚高压断裂为两部分且范围减小,一部分位于110°E以西,对长江中下游地区影响较大,另一部分位于西太平洋,西脊点在125°E左右。6月28日(第6天),南亚高压西部分的

范围减小,12520 特征线东脊点位于 $105^{\circ}\text{E}$ 左右,长江中下游地区无大范围降水,另一部分的南亚高压消失。6月29日(第7~8天),南亚高压范围继续缩小,东脊点西退至 $100^{\circ}\text{E}$ 附近,长江中下游地区无大范围降水。

7月1日(第9天),南亚高压有东进趋势,东脊点已到达 $115^{\circ}\text{E}$ 以东地区,降水范围维持且增强。此次降水过程结束后(+5 d),南亚范围增大,主要影响淮河流域。

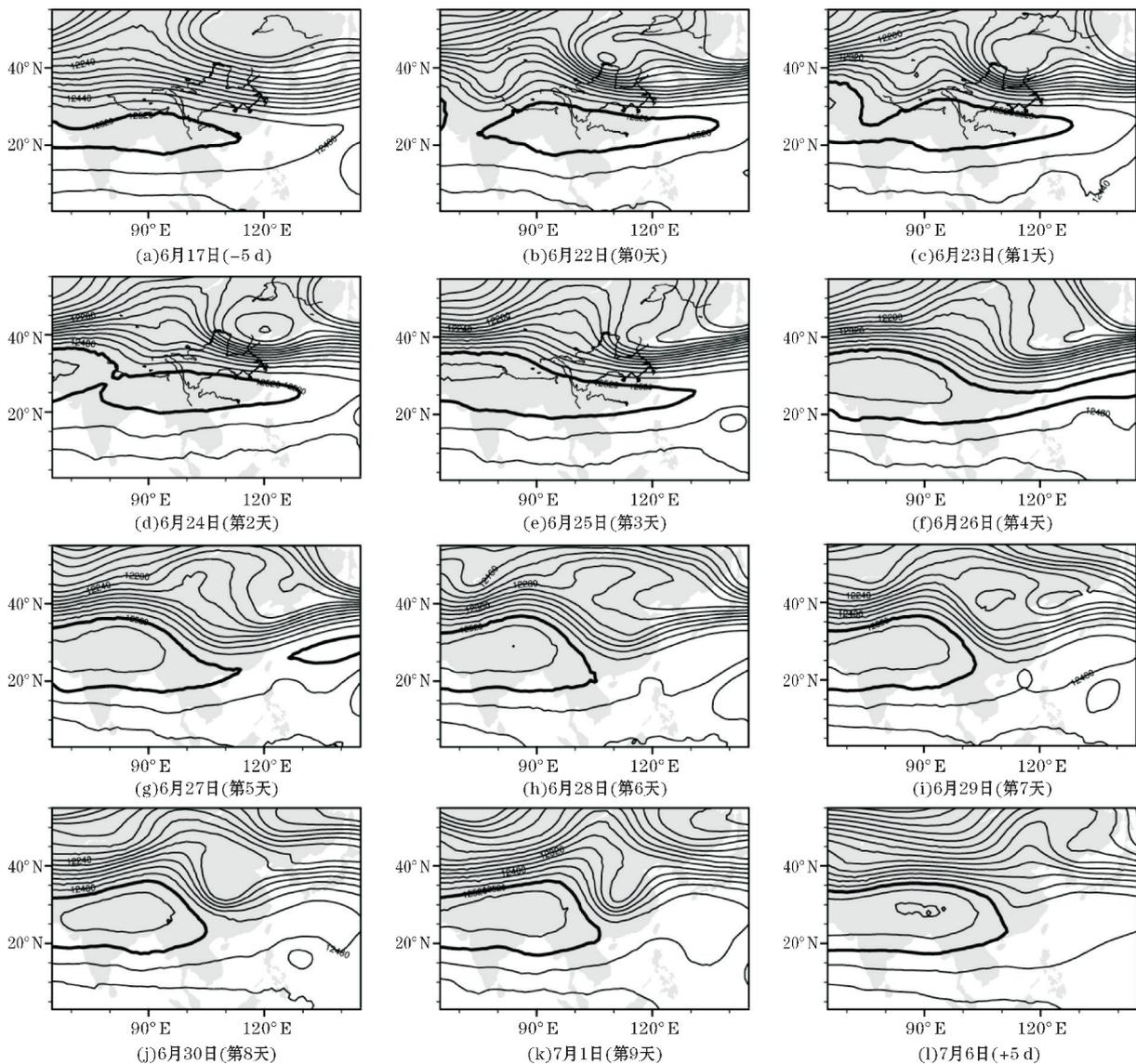


图4 2017年6月22日至7月1日降水期间及前后时期各阶段200 hPa位势高度场的空间分布演变图

综上所述,影响此次降水过程的主要系统为:副高、南亚高压和位于中国东北部的低压系统。其中,副高的位置主要影响长江中下游地区雨带的空间分布,南亚高压主要影响此次降水的范围。当南亚高压与副高相向移动时,降水范围增大;反之,降水范围减小。

#### 4 水汽分析

图5为2017年6月22日至7月1日降水期间及前后时期各阶段200 hPa风场的空间分布演变图。在

中国有两个急流中心,一个位于新疆北部,另一个位于长江北侧至华北的范围。此次降水过程前(-5 d),东侧的急流中心位于长江北侧,紧贴长江。6月22-23日(第0~1天),高空急流的强度加强,并北移至华北地区。6月24-27日(第2~5天),高空急流的强度继续加强,向东南移动,在27日移至长江入海口的东北侧。6月28日至7月1日(第6~9天),高空急流的强度逐渐减弱,并慢慢回移至华北地区。6月22-27日(第0~5天),高空急流较强,对长江中下游地区的影响较大。

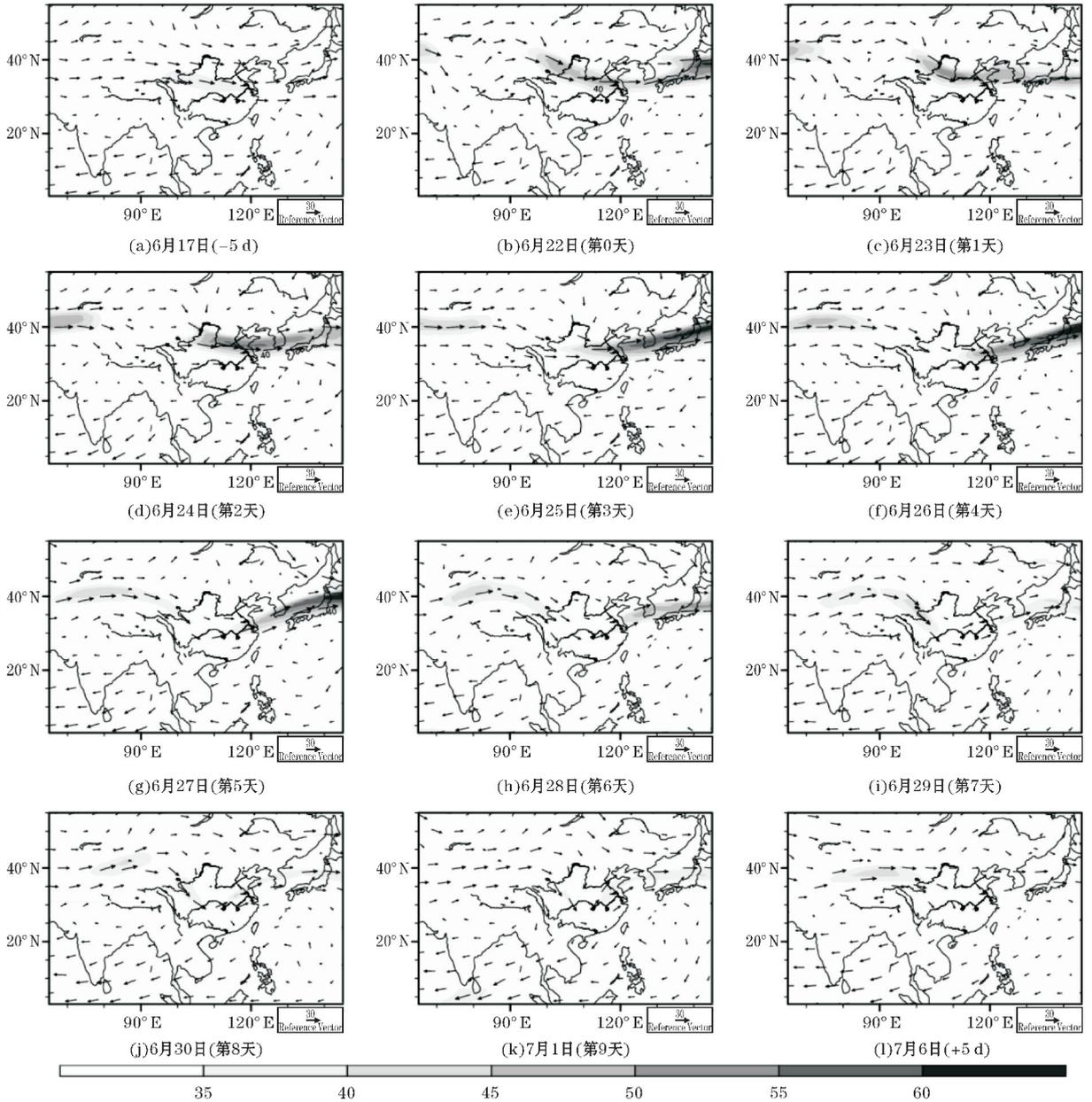


图 5 2017 年 6 月 22 日至 7 月 1 日降水期间及前后时期各阶段 200 hPa 风场、风速大于 30 m/s 区域的空间分布演变图

沿 $110^{\circ}\text{E}$ ,2017 年 6 月 17 日-7 月 6 日散度的垂直-纬度剖面图(图略)显示:此次降水过程前,700 hPa、850 hPa 均以辐合上升为主,200 hPa 在 $30^{\circ}\text{N}$ 以南为辐合上升, $30^{\circ}\text{N}$ 以北以弱的辐散为主;6 月 22-23 日,低层的辐合与高层的辐散比较强,有利于水汽的辐合上升产生降水;6 月 24-27 日,低层的辐合较强,高层的辐散有所减弱但依然有明显的辐散;6 月 28-30 日,低层的辐合减弱,高层的辐散加强;7 月 1 日,850 hPa 有强辐合上升,500 hPa 有强辐散下沉,产生不稳定层结,为强降水的发生提供了有利的动力机制。降水过程结束后,辐散辐合均减弱。

图 6 为整层垂直积分水汽通量及 850 hPa 风场的

空间分布演变图。此次降水过程前(-5 d),副高位置偏南,与中国北方的低压系统相配合,使来自太平洋和孟加拉湾的水汽影响中国华南地区。6 月 22-23 日(第 0~1 天),副高位置北移,在副高与北部低压系统以及印度高压系统的共同影响下,来自太平洋和孟加拉湾的水汽被输送到长江中下游地区。6 月 24-26 日(第 2~4 天),印度半岛高压加强,范围扩大至孟加拉湾,长江中下游地区主要受到来自太平洋的水汽的影响。6 月 27-29 日(第 5~7 天),中国北部的低压系统减弱且向东北方向移动,使来自太平洋的水汽一部分在副高的影响下继续影响长江中下游地区,另一部分向中国东北地区输送。6 月 30 日和 7 月 1 日(第 8~9

天),印度半岛高压系统加强,中国东北部的低压系统加深且伸向西南方向,将来自太平洋及孟加拉湾的大部分水汽输送到长江中下游地区。此次降水过程结束

后(+5 d),中国北部的低压系统以及印度半岛的高压系统均减弱,仅有来自太平洋的小部分水汽被输送到长江中下游地区。

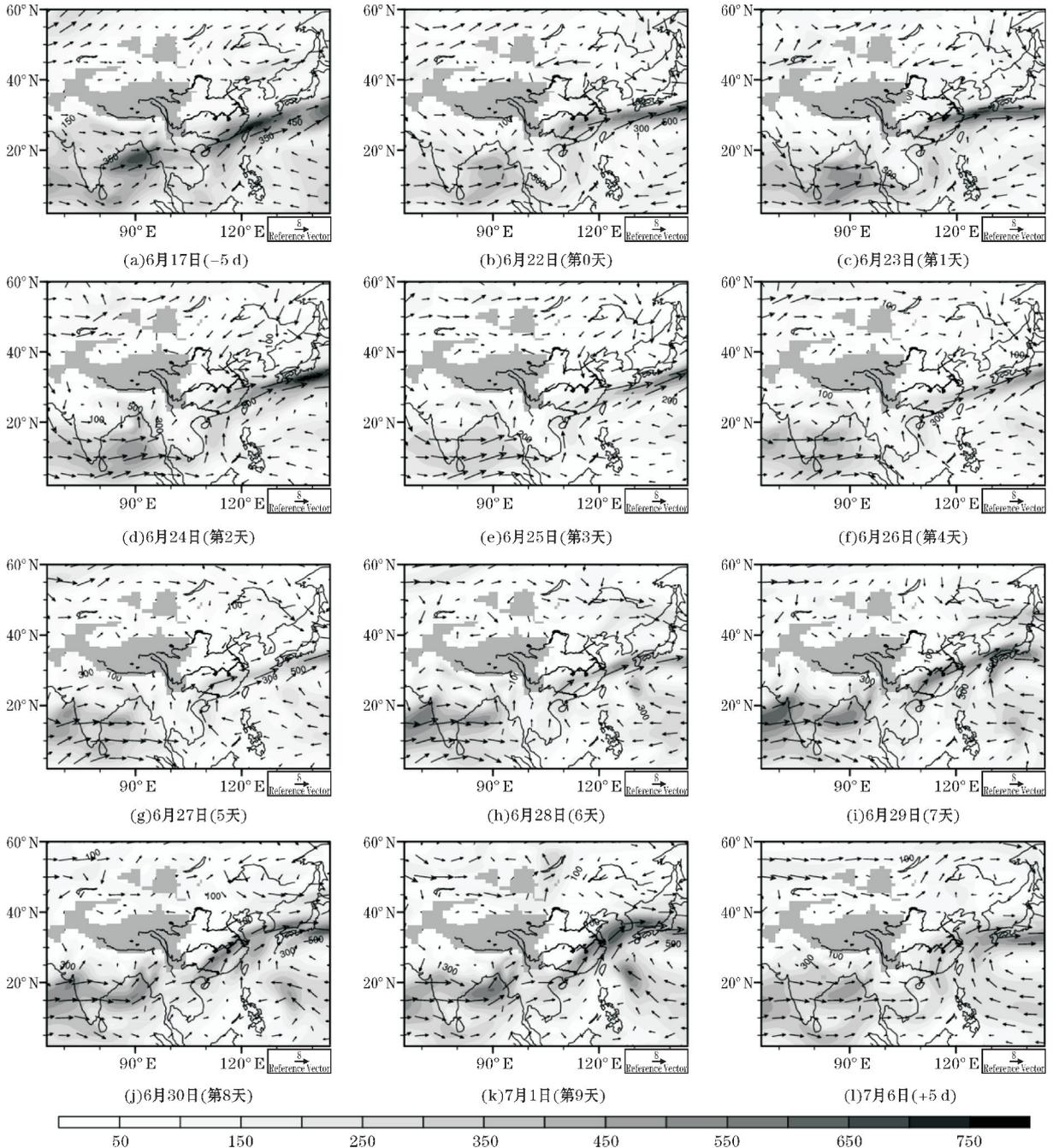


图6 2017年6月22日至7月1日降水期间及前后时期各阶段整层垂直积分水汽通量以及700 hPa风场的空间分布演变图

图7为降水期间及前后时期500 hPa相对湿度的空间分布演变图。此次降水过程前(-5 d),相对湿度大值区位于长江中下游地区的南部,相对应的降水落区位于长江中下游地区的南部。6月22-24日(第0~2天),相对湿度大值区北移至长江中下游地区,此次持续性异常降水开始。6月25-29日(第3~7天),

相对湿度大值区南移且减小,相应的降水落区南移且降水量减小。6月30日和7月1日(第8~9天),相对湿度的极大值增大,降水强度加强。此次降水过程结束后(+5 d),相对湿度大值区南移且减小,相应的降水落区南移且降水量减小,此次持续性异常降水结束。

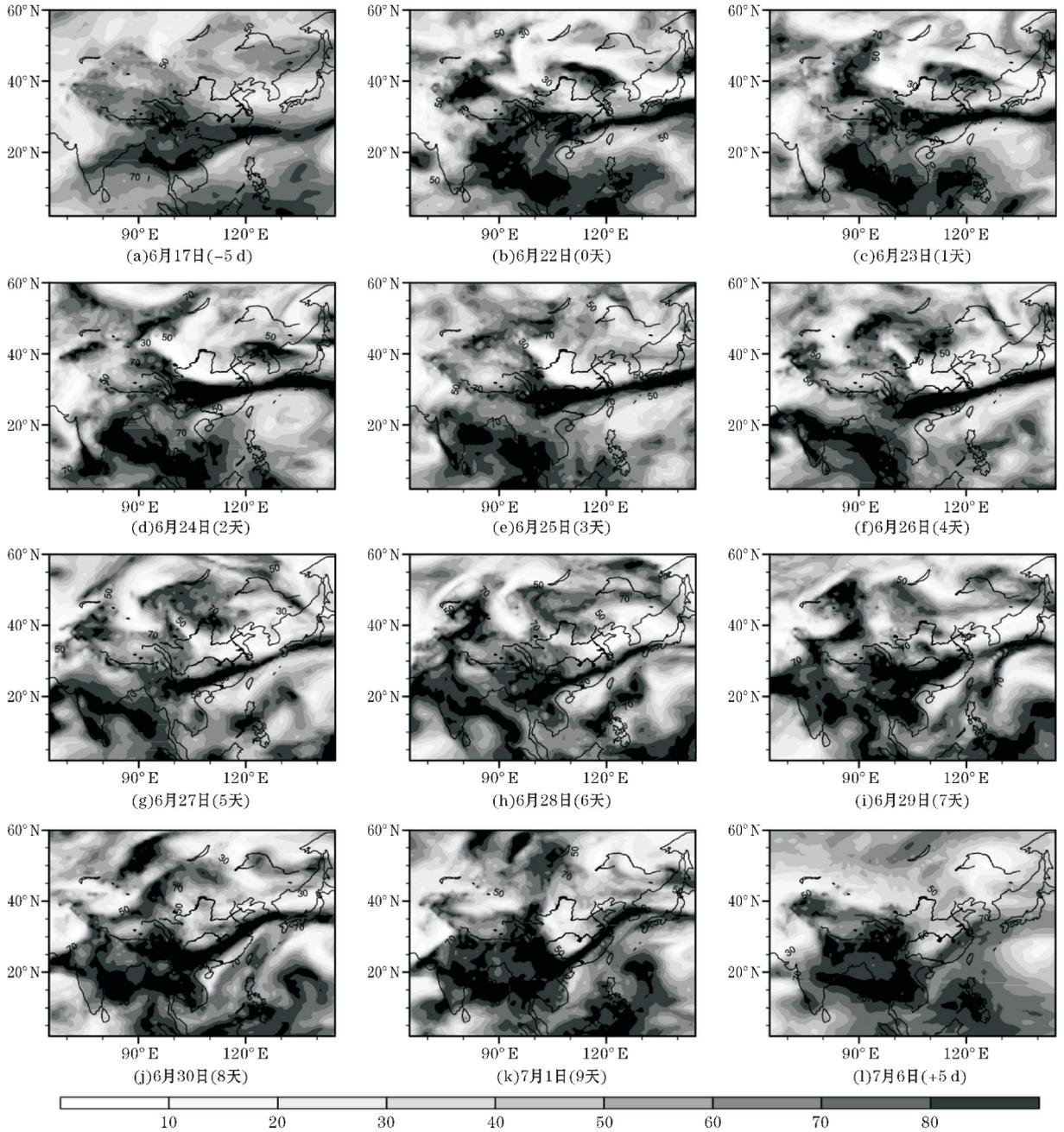


图 7 2017 年 6 月 22 日至 7 月 1 日降水期间及前后时期 500 hPa 相对湿度的空间分布演变图

相对湿度的大值区位于西太副高的西北侧,与降水落区基本一致,相对湿度极大值增加时,降水量大,反之,降水量小。

## 5 结论与讨论

采用降水资料和再分析资料,对 2017 年 6 月 22 日-7 月 1 日的持续性异常降水事件的实况和环流形势进行了分析,得出以下结论:

(1) 持续性异常降水受副高、南亚高压以及东北低压的影响;其中影响比重最大的为副高,影响降水的空间分布,副高的强度强且位置偏北时,降水的强度较强、位置偏北,副高的强度弱且位置偏南时,降水情况相反。南亚高压主要影响此次降水的范围大小。当南亚高压与副高相向移动时,降水范围增大;反之,降水

范围减小。受副高、东北低压的影响,南下的干冷气团与北上的暖湿气团在长江中下游地区交汇,两种性质气团交汇位置的移动也影响雨带的位置。

(2) 副高、东北低压以及南亚高压为深厚系统,较为稳定,有利于降水的持续;三者相互配合有利于大量水汽被输送到长江中下游地区,为强降水的产生维持提供充足的水汽条件。

(3) 长江中下游地区位于高空急流入口区右侧,200 hPa 辐散较强,有强抽吸作用,产生强垂直上升运动,850 hPa 低空急流将西太平洋以及印度洋的暖湿气流输送到长江中下游地区,有利于对流不稳定层产生,是此次持续性异常降水产生的重要因素之一。

在全球变暖的背景下,长江中下游地区夏季持续性异常降水事件频发,带来了重大的损失,备受各界重

视。本文着眼于2017年长江中下游地区的一次持续性异常降水事件,采用站点降水和格点再分析资料,对其实况和环流形势进行了分析,初步得到了一些有意义的结果。但对其研究还需继续深入,后续还将采用超前滞后相关等方法,引入卫星数据,探寻有预报意义的前兆指示性信号,并将结合WRF数值模式对其内在机理进行探究。

致谢:感谢成都信息工程大学本科教学工程项目(BKJX2019089)对本文的资助

## 参考文献:

- [1] 秦大河,张建云,闪淳昌,等. 中国极端天气气候事件和灾害风险管理与适应国家评估报告[M]. 北京:科学出版社,2015:109.
- [2] 谢齐强. 1991年江淮流域持续性特大暴雨的水汽输送[J]. 气象,1993,10.
- [3] 甘晶晶,汤燕冰. 江淮流域持续性暴雨过程的中期信号初析[J]. 浙江大学学报(理学版),2009,36(4):477-486.
- [4] 郑永光,陈炯,葛国庆,等. 梅雨锋的典型结构、多样性和多尺度特征[J]. 气象学报,2007,65(5):760-772.
- [5] 周宏伟,王群,裴道好,等. 苏北东部一次梅雨锋大暴雨过程的多尺度特征[J]. 气象,2011,37(4):432-438.
- [6] 王昀,李耀辉. 江淮流域持续性降水的大尺度环流背景分析[J]. 干旱区地理,2014,37(4):684-694.
- [7] Ruixin Liu, Jianhua Sun, Jie Wei. Classification of

- persistent heavy rainfall events over South China and associated moisture source analysis [J]. *Journal of Meteorological Research*, 2016, 30(5):678-693.
- [8] 何群英,孙一昕,刘一玮,等. “7.25”天津持续性局地大暴雨初步分析[J]. 暴雨灾害,2012,31(3):226-231.
  - [9] 王晓芳,黄华丽,黄治勇. 2010年5—6月南方持续性暴雨的成因分析[J]. 气象,2011,37(10):1206-1215.
  - [10] 范亮,肖天贵. 长江中下游持续性异常降水的天气学特征分析[J]. 成都信息工程学院学报,2014,29(5):528-538.
  - [11] Brunet G, Shapiro M, Hoskins B, et al. Collaboration of the Weather and Climate Communities to Advance Subseasonal-to-Seasonal Prediction [J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2012, 91(10):1397-1406.
  - [12] 周可,王伟,任晓玥. 2010年夏季长江中下游持续性异常降水低频特征分析[J]. 成都信息工程大学学报,2018(4):448-455.
  - [13] 胡景高,陶丽,周兵. 南亚高压活动特征及其对我国东部夏季降水的关系[J]. 高原气象,2010,29(1):128-136.
  - [14] 张琼. 南亚高压的演变规律、机制及其对区域气候的影响[D]. 南京:南京大学,1999.
  - [15] 朱玲,左洪超,李强,等. 夏季南亚高压的气候变化特征及其对中国东部降水的影响[J]. 高原气象,2010,29(3):671-679.

## Analysis of one Persistent Abnormal Precipitation Process over the Middle-Lower Reaches of the Yangtze River in 2017

WANG Zeyu, WANG Wei

(College of Atmospheric Science, Chengdu University of Information Technology, and Plateau Atmospheric and Environment Laboratory of Sichuan Province, Chengdu 610225, China)

**Abstract:** The occurrence of persistent abnormal precipitation will cause serious flood disasters, which will bring huge social and economic losses. In view of the persistent anomalous precipitation process in the middle-lower reaches of the Yangtze River in the summer of 2017, using daily rain gauge observations at stations provided by the National Meteorological Information Center of China and ERA interim reanalysis data, from various angles (eg: the circulation situation, water vapor flux and relative humidity), the spatial and temporal characteristics and the large-scale background field related to this precipitation process from June 22 to July 1, 2017 were discussed and analyzed by using the method of factor spatial evolution analysis. The result shows that the persistent anomalous precipitation is zonally distributed along the Yangtze River in the southwest-northeast. It has a long duration and a large precipitation. The main impact system is the Western Pacific Subtropical High (referred to as the Subtropical High), the Northeast Low and the South Asian High, of which the subtropical high has the greatest impact, and the South Asian high pressure mainly affects the scope of the precipitation. The northeast low pressure cooperates with the subtropical high to make the dry cold air mass in the south and the warm and humid air mass in the north meet in the middle and lower reaches of the Yangtze River. At the same time, the movement of the two air mass intersections affects the position of the rain belt. The middle and lower reaches of the Yangtze River are located on the right side of the entrance area of the upper jet stream, with a strong upward movement. The lower jet stream on 850 hPa continuously transports warm and moist air from the western Pacific Ocean and the Indian Ocean to the middle and lower reaches of the Yangtze River. This shows that this persistent abnormal precipitation is formed by various factors.

**Keywords:** meteorology; persistent abnormal precipitation; middle-Lower reaches of the Yangtze River; circulation situation; water vapor flux